



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STOJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY OCHRANNÉHO KRYTU

THE SUGGESTION OF TECHNOLOGY OF PROTECTION COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VLADISLAV VÁGNER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vladislav Vágner

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologie výroby ochranného krytu

v anglickém jazyce:

The suggestion of technology of protection cover

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na technologii výroby ochranného krytu. V závěrečné práci by měla být uvedena problematika tažení či jiné možné technologie výroby a výrobní postupy.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování literární studie na možné technologie výroby. Zhodnocení současné technologie výroby součástí podobných tvarů. Návrh vhodné technologie výroby součástky a zpracování postupu výroby. Součástí práce bude i technicko – ekonomické hodnocení, návrh sestavy nástroje a závěry se zhodnocením navrhované technologie.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W., SEMLINGER, E. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig/Wiesbaden, Friedr Vieweg and Sohn Verlagsgesellschaft mbH. 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
2. FOREJT, M. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno, Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0294-6.
3. TIŠNOVSKÝ, M., MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha, SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
4. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0401-9.
5. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: Technologie tváření – plošné a objemové tváření, 1.ed., edit.Rektorát VUT v Brně, 2003, pp.169, ISBN 80-214-2340-
6. ROMANOVSKIJ, V.P. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha, SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
7. MARCINIAK, Z. Teorie tváření plechů. 1. vyd. Praha, SNTL, 1964. 462 s. DT 621.777.001."
8. FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

VÁGNER Vladislav: Návrh technologie výroby ochranného krytu.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia předkládá návrh technologie výroby krytu zhotovené z hlubokotažného ocelového plechu DC 04. Práce zahrnuje porovnání možných technologií výroby součástí a zpracování postupu výroby hlubokým tažením. Na základě výpočtu bylo zjištěno, že na výrobu součástí jsou potřeba čtyři tažné a jedna kalibrovací operace. Byl zvolen hydraulický lis CTC 250 a pro něj navržen nástroj pro první tah. V práci bylo zahrnuto technicko-ekonomické zhodnocení, které ukazuje, že série 50 000 kusů za rok je zisková.

Klíčová slova: tváření, hluboké tažení, přístřih, tažný nástroj

ABSTRACT

VÁGNER Vladislav: The suggestion of technology of protection cover.

The project executed in frame of Bachelor study presents a suggestion of manufacturing technology of cover made of deep drawing sheet iron DC 04. The theses includes comparing of possible manufacturing technologies and elaboration of manufacturing procedure by deep drawing. Based on calculation was discovered that there are four drawing and one calibrating operations needed. The CTC 250 press was chosen and for it was the tool designed for a first draw. In the theses was included economical-technical evaluation which shows that set of 50 000 pieces a year is profitable.

Keywords: forming, deep drawing, blank, drawing tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁGNER, V. *Návrh technologie výroby ochranného krytu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, 2010. 32 s. 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce
Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 13.10.2010

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D a paní Ing. Michaele Císařové za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1	ÚVOD	10
2	ROZBOR VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI	11
3	MOŽNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI	12
3.1	Rozšiřování	12
3.2	Kovotlačení	12
3.2.1	Ruční metoda kovotlačení	12
3.2.2	Strojní metoda kovotlačení	13
3.3	Hluboké tažení	13
4	TECHNOLOGIE HLUBOKÉHO TAŽENÍ	14
4.1	Velikost přístřihu plechu	15
4.2	Počet tažných operací a jejich odstupňování	16
4.3	Použití přidržovače	17
4.4	Poloměry tažných hran tažnice a tažníku	17
4.5	Tažná mezera	18
4.6	Tažná síla a práce	18
4.7	Maziva pro tažení	20
4.8	Tažné nástroje	20
4.9	Tažník	21
4.10	Tažnice	21
4.11	Přidržovač	22
4.12	Stroje pro hluboké tažení	22
5	NÁVRH POSTUPU VÝROBY	23
5.1	Parametry výtažku	23
5.2	Velikost přístřihu plechu	23

5.3	Nástřihový plán.....	24
5.4	Počet tažných operací.....	25
5.5	Nutnost použití přidržovače.....	25
5.6	Poloměr zaoblení tažné hrany	26
5.6.1	Poloměr hrany tažnice	26
5.6.2	Poloměr hrany tažníku	26
5.7	Tažná mezera	26
5.8	Výpočet celkové síly	26
5.8.1	Tažná síla	26
5.8.2	Síla přidržovače	27
5.8.3	Celková tažná síla	27
5.9	Tažná práce.....	27
5.10	Volba lisu	28
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	29
6.1	Technické zhodnocení	29
6.2	Ekonomické zhodnocení	29
6.2.1	Variabilní náklady	29
6.2.2	Fixní náklady	30
6.2.3	Celkové náklady	30
7	ZÁVĚR.....	32

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam použité literatury

Seznam příloh

1 ÚVOD

Tváření materiálů je jedním z nejstarších a nejefektivnějších procesů ve strojírenské technologii. Je přeměna tvaru zpracovávaného materiálu za tepla nebo za studena působením vnějších mechanických sil, přičemž objem materiálu zůstává konstantní a nedochází k porušení jeho soudržnosti.

Díky velké rychlosti výroby a velmi malému odpadu oproti obrábění patří tváření kovů k nejhospodárnějším technologickým způsobům průmyslové výroby současnosti. Z důvodů vysokých pořizovacích nákladů tvářecích nástrojů se tváření používá převážně v hromadné a sériové výrobě. Další výhodou výroby součástí touto technologií je fakt, že průběh vláken značně přispívá ke zlepšení mechanických vlastností materiálu a to zejména pevnosti.

Podle změny tvaru materiálu se tváření rozděluje na plošné a objemové.

- U plošného tváření bývá polotovarem většinou plech a požadovaného tvaru součásti se dosáhne bez podstatné změny tloušťky a mechanických vlastností výchozího materiálu.
- U objemového tváření se součást vytvoří změnou tvaru a průřezu výchozího materiálu a dochází u něj také ke změnám mechanických vlastností.



Obr. 1: Příklady výrobků hlubokého tažení [12], [13], [14], [15]

2 ROZBOR VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI [10]

Zadaná součást má sloužit jako stínící a ochranný kryt žárovky u závěsného svítidla. Součást je zvonovitého tvaru s nejmenším průměrem 45 mm, největším průměrem 120 mm, celkovou délkou 180 mm a tloušťkou plechu 2 mm. Výroba součásti bude v sérii 50 000 kusů za rok. Použitý materiál je uklidněná ocel se zvýšenou odolností proti stárnutí DC04 (11 305.20). Je to ocel pro mírný až hluboký tah vhodná hlavně pro tváření za studena, na lakování a pokovování.

Tab. 1: Mechanické vlastnosti materiálu [10]

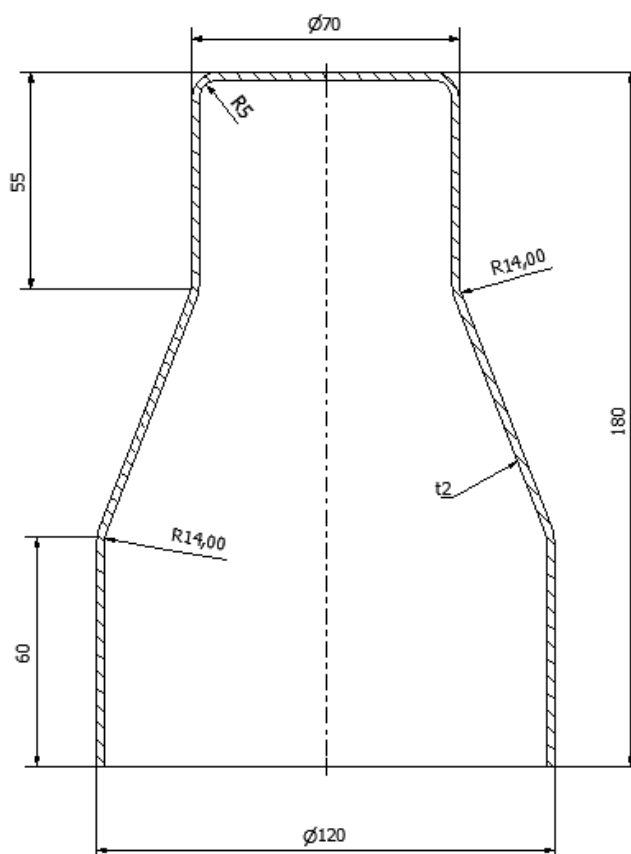
R _m [MPa]	A ₈₀ [%]	Re max [MPa]
270 - 350	38	210

Tab. 2: Chemické složení [10]

C % max.	Mn % max.	P %	S %
0,08	0,4	0,03	0,03



Obr. 2: 3D model ochranného krytu



Obr. 3: 2D zobrazení ochranného krytu

Výkres součásti viz příloha 1

3 MOŽNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

Vzhledem k tvaru součásti připadají v úvahu tyto technologie:

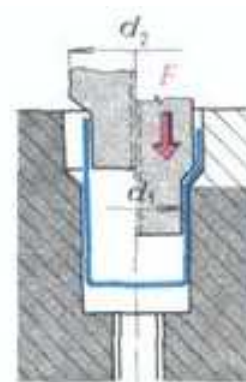
- Rozšiřování
- Kovotlačení
- Hluboké tažení

3.1 Rozšiřování [5]

Rozšiřování je proces, který se používá ke zvětšení průměru tažené skořepiny nebo trubky, v jedné nebo více částech, různými druhy lisovníků. Rozšiřování se provádí pomocí pružného kolíku (pryžový nebo polyuretanový), hydraulického tlaku, nebo pomocí segmentovaného mechanického razidla.

Rozšiřování slouží ke zplošťování, nebo zlepšování určitého povrchu na již dříve tažených součástech, ke zvětšení přesnosti než je možné dosáhnout klasickými tažnými metodami.

Před rozšiřováním je nutné provést operaci tažení, tato technologie by byla tudíž příliš nákladná a časově náročná, proto není vhodná.



Obr. 4: Rozšiřování výtažků [7]

3.2 Kovotlačení [5]

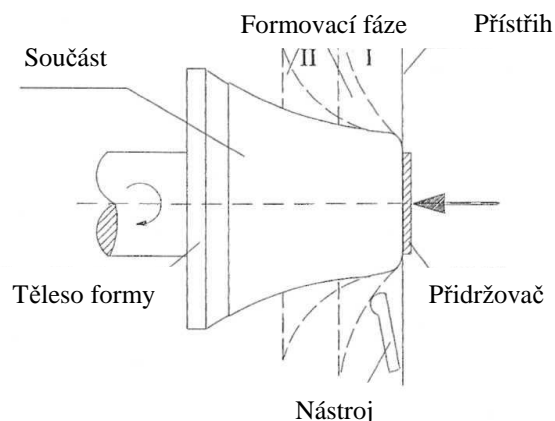
Kovotlačení je proces tváření kovové součásti nástroji nebo kladkami na vřetenu. Součást bývá z kruhového přístřihu plechu, nebo z určité délky trubkového polotovaru. Pro danou součást uvažujeme dva typy kovotlačení:

3.2.1 Ruční metoda kovotlačení [5]

V prvním typu kovotlačení, také nazývaného ruční kovotlačení, je kruhový přístřih plechu přitisknut k čelu formy a roztočen, přičemž je kladkou tlačena na těleso formy, jak je vidět na obr. 5. Nástroje mohou být ovládány ručně, nebo pomocí hydraulického mechanismu.

Výhody ručního kovotlačení, oproti jiným tažným procesům, jsou rychlost a ekonomičnost výroby prototypových vzorků, nebo malých sérií do 1000 kusů. Cena nástrojů a investice do vybavení je taktéž menší. Nicméně, kovotlačení vyžaduje kvalifikovanější pracovní síly.

Vzhledem k plánované sérii 50 000 kusů za rok tato technologie není vhodná na výrobu zadané součásti.



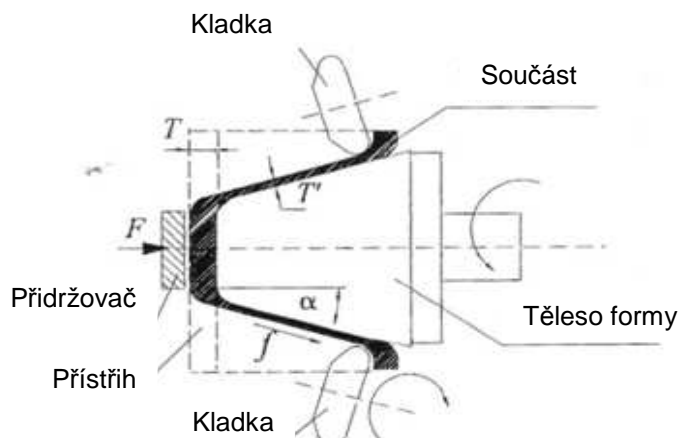
Obr. 5: Ruční metoda kovotlačení [5]

3.2.2 Strojní metoda kovotlačení [5]

Druhý typ kovotlačení je proces formování složitých tvarů, jako jsou kužely s šikmými stěnami, křivočaré tvary osově symetrické, polokulová a eliptická víčka nádrže s konstantními nebo zužujícími se stěnami. Tento proces je také znám jako smykové kovotlačení a tvar je vytvářen udržováním konstantního průměru součásti, jak je vidět na obr. 6. I přesto že může být použita i jediná kladka, je vhodné použít dvě kladky k vyrovnání radiálních sil působících na těleso formy. Během otáčení je tloušťka stěny zmenšována.

Důležitým faktorem ovlivňujícím úspěšný průběh smykového kovotlačení je tažnost kovu. Tažnost udává nejmenší tloušťku, na kterou může být kus tlačěn, aniž by došlo k porušení soudržnosti materiálu.

Tento typ kovotlačení by se na výrobu zadané součásti dal použít, avšak při zadané sérii 50 000 ks/rok by tento způsob výroby byl méně produktivní než hluboké tažení.



Obr. 6: Smyková metoda kovotlačení [5]

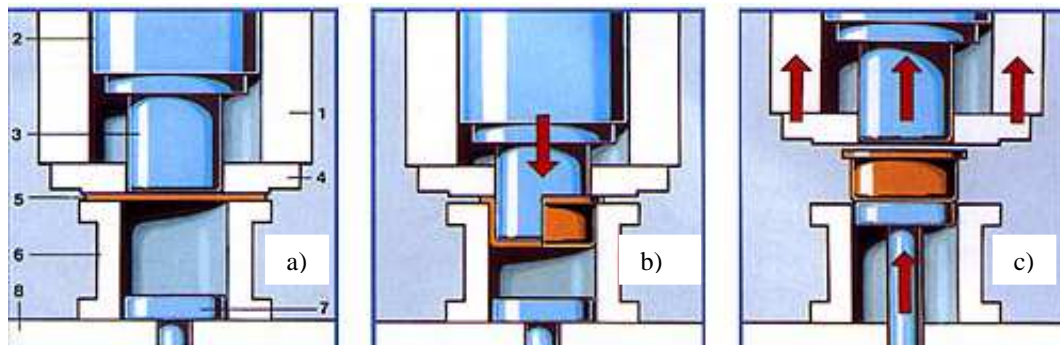
3.3 Hluboké tažení [1]

Tažení plechu je technologický proces tváření, při kterém se z rovinného přístřihu plechu zhotovují v jedné nebo více operacích výtažky jednoduchého rotačního tvaru, hranaté výtažky a složité nesymetrické tvary součástí. V průmyslové praxi se tímto způsobem vyrábí široký sortiment mělkých i hlubokých nádob, krytů, vík, součástí karosérií automobilů atd.

V zásadě lze rozdělit proces tažení na "tažení bez zeslabení stěny" a "se zeslabením stěny" výtažku.

Kvůli neměnné tloušťce stěny součásti se pro zadanou součást dále bude řešit pouze problematika tažení bez zeslabení stěny. Díky vysoké produktivitě volím hluboké tažení jako technologii výroby zadané součásti.

Obrázek 7 znázorňuje příklad tažné operace. Na obr. 7a) je vidět přístřih plechu (5) sevřený mezi tažnicí (6) a přidržovačem (4), který je upnut do vnějšího beranu lisu (1). Tažník (3) upnutý do vnitřního beranu lisu (2) se pohybuje směrem dolů a formuje přitom výtažek. (obr. 7b)) Na obr. 7c) je vidět jak se oba berany lisu pohybují vzhůru a zároveň se stejným směrem pohybuje i vyhazovač (7), který vytlačuje hotový výtažek z tažnice.



Obr. 7: Hluboké tažení [9]

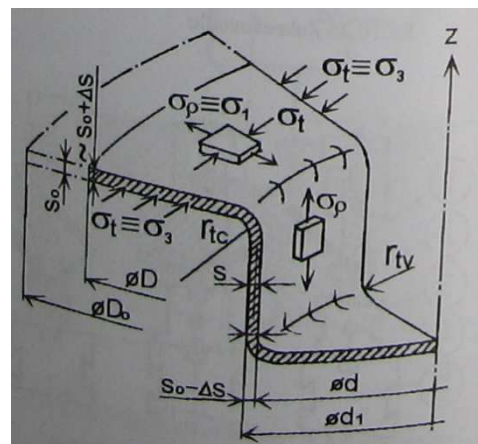
4 TECHNOLOGIE HLUBOKÉHO TAŽENÍ [2],[7]

Přetvoření rovinného přístřihu plechu v duté těleso se nazývá tažením. Jde o prostorový ohyb do nerozvinutelných tvarů bez podstatného zeslabení tloušťky stěny nebo zeslabení stěny buď v jedné, nebo více tažných operacích. Mezi základní způsoby tažení patří:

- tažení bez zeslabení stěny v jedné i více operacích bez přidržovače nebo s přidržovačem,
- tažení se zeslabením stěny,
- zpětné tažení,
- zužování,
- rozšiřování,
- lemování
- a řada dalších aplikací těchto základních metod při výrobě rozmanitých tvarů výtažků s využitím kapaliny a pružných médií, jak je uvedeno v ČSN 22 60 01.

Při hlubokém tažení válcových výtažků bez zeslabení stěny je mezi tažníkem a tažnicí dostatečná vůle, zpravidla $t_v = 1,2 \cdot t$. V průběhu tažení dochází v oblasti příruby k intenzivnímu napěchování materiálu ve směru tečného napětí, přitom dochází k výraznému prodloužení ve směru tahového napětí. Na konci příruby ϕD se zvětšuje tloušťka o 20% až 30% podle stupně tažení. Případnému zvlnění příruby zabráňuje přidržovač. V místech prostorového ohybu u dna výtažku dochází k zeslabení stěny.

Značný objem kovu v přírubě se přesouvá a vytlačuje ve směru výšky nádoby. Podle schématu na obr. 8 je poměrné přetvoření na konci příruby dáno vztahem:



$$\varepsilon_D = \frac{D_0 - D}{D_0} \quad (4.1)$$

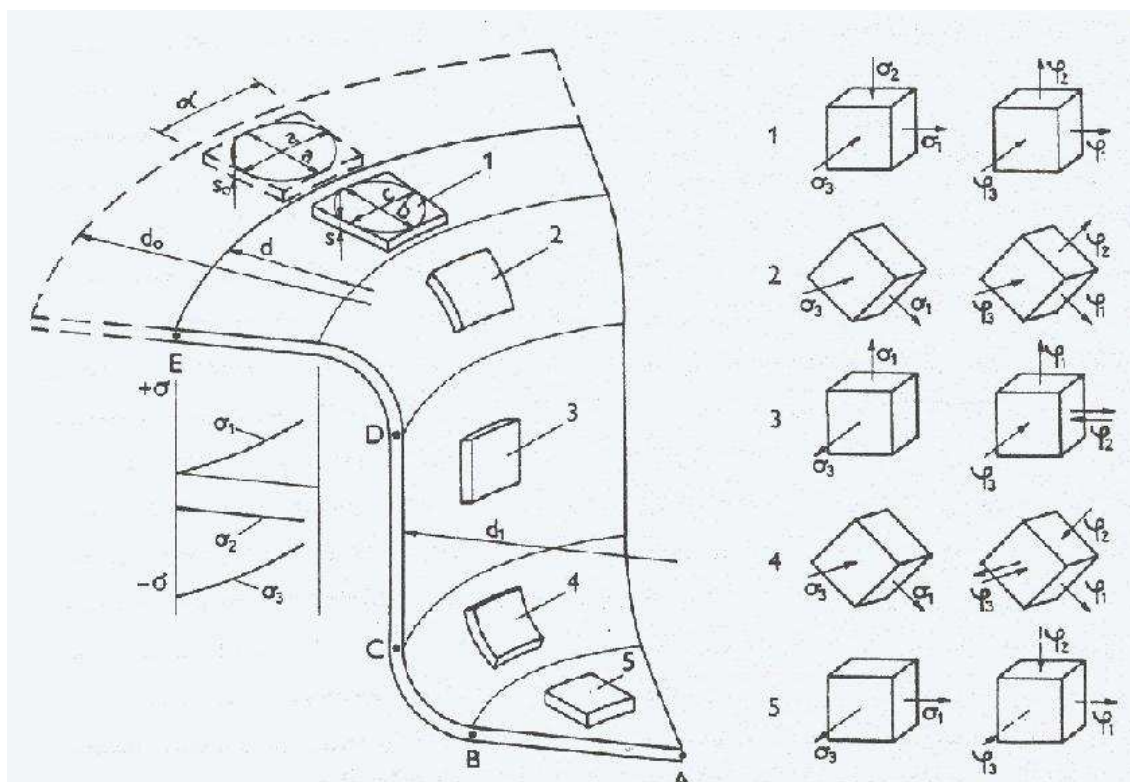
Obr. 8: Schéma napjatosti při tažení [3]

$$\text{a pro } d_1 = d_e \quad \varepsilon_1 = \frac{D_0 - d_1}{D_0} = 1 - m_1 \quad (4.2)$$

$$\text{kde součinitel tažení } m_1 = \frac{d_1}{D_0} \quad (4.3)$$

vyjadřuje zmenšení výchozího průměru přístřihu D_0 na průměr d_1 . Pro běžné tažení se součinitel tažení m_1 pohybuje v rozmezí 0,5 až 0,9, u speciálních metod tažení až do hodnot 0,35. Záleží na tvaru finálního výtažku (kruhový, čtvercový, obdélníkový, ...). V zahraničí se používá tzv. stupně tažení $K_1 = \frac{1}{m_1}$ (4.4)

Velké stupně přetvoření jsou prezentovány malými hodnotami součinitele tažení a opačně. V praxi se považuje tloušťka výtažku přibližně za konstantní a zákon stálosti objemu se zjednodušuje na zákon stálosti ploch.



Obr. 9: Napjatosti při tažení [7]

Napjatost při tažení je v jednotlivých místech výtažku různá a dochází zde ke změně mechanických vlastností plechu. Dno (A) se vytahuje nepatrně a stejnoměrně do dvou směrů. Válcová část (C) je natahována v jednom směru, ale u dna (B) je dvoj- nebo trojosá napjatost. Materiál, který přechází přes tažnou hranu (D) je namáhán ohybem radiálním a tangenciálním tlakem. Materiál pod přidržovačem (E) je namáhán tahem v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby. Je-li nástroj bez přidržovače, odpadá tlak pod přidržovačem. Nejnevýhodnější podmínky jsou v místě ohybu u dna výtažku, zde je vysoké tahové napětí. Důsledkem je zeslabování tloušťky stěny, a to vede k nebezpečí utržení dna.

4.1 Velikost přístřihu plechu [1]

Velikost přístřihu plechu se stanoví výpočtem nebo pomocí diagramů. Předpokládá se stálost objemu tvářeného materiálu a za předpokladu, že tloušťka plechu při tažení zůstává stejná, vychází výpočet z rovnosti ploch. U tenkých plechů se počítá s vnějšími rozměry výtažku, u tlustých plechů je třeba uvažovat střední rozměr tloušťky plechu. S ohledem na cípatost výtažku se teoreticky vypočtený průměr přístřihu zvětšuje při jednooperačním tažení o 3 % a při každé další operaci o 1 %.

Jako příklad lze uvést stanovení velikosti přístřihu D_0 pro válcový výtažek bez příruby:

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \quad [\text{mm}] \quad (4.5)$$

resp. s přírubou:

$$D_0 = \sqrt{d_p^2 + 4 \cdot d \cdot h - 3,44 \cdot d \cdot r} \quad [\text{mm}] \quad (4.6)$$

kde: d [mm]..... vnitřní průměr výtažku
 d_p [mm]..... průměr příruby hotového výtažku
 h [mm]..... minimální výška výtažku
 r [mm]..... poloměr zaoblení přechodu stěny do příruby a dna výtažku

Pro přesnější určení plochy rotačního tělesa se používá Guldinova věta. Ta zjednodušeně říká, že povrch rotačního tělesa je dán součinem délek tvořících čar a vzdáleností jejich těžišť od osy tělesa.

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r_n \cdot L_n \quad (4.7)$$

kde: S povrch tělesa
 r_n poloměr těžišť jednotlivých čar
 L_n délka jednotlivých čar

4.2 Počet tažných operací a jejich odstupňování [4]

Součinitel tažení pro první tah m_1 je poměr průměru ϕd_1 válcového výtažku z prvního tahu k průměru přístřihu ϕD .

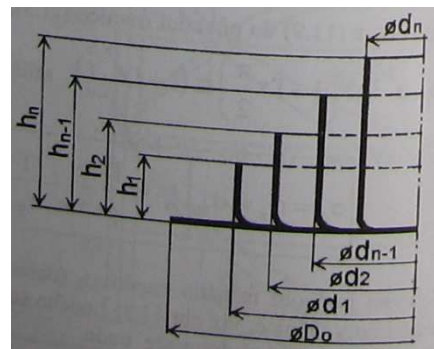
$$m_1 = \frac{d_1}{D} \quad [-] \quad (4.8)$$

Střední hodnota tohoto poměru se v praxi volí v rozmezí $m_1 = (0,48 - 0,6)$ pro ocelové hlubokotažné plechy tažené s přidržovačem.

Pro druhý a další tahy je součinitel tažení $m = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad [-] \quad (4.9)$

jako poměr průměrů dvou na sebe navazujících operací a volí se v rozmezí $m = 0,75$ až $0,85$.

Na volbu součinitele tažení má vliv řada parametrů a to hlavně mechanické vlastnosti použitého plechu (R_m , R_e , A), tloušťka plechu, jakost povrchu plechu, mazivo, konstrukce nástroje aj. Čím je tloušťka plechu větší a kvalita použitého maziva lepší, tím je možno použít nižších hodnot součinitele tažení.



Součinitel tažení se v praxi volí pomocí tabulky součinitelů tažení viz tab. 3.

Obr. 10: Více operační tažení [3]

Tab. 3: Součinitele tažení [11]

$\frac{t}{D_0} \cdot 100$		2,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 0,6	0,6 ÷ 0,3	0,3 ÷ 0,15	0,15 ÷ 0,08
Součinitel tažení	m_1	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62
	m_2	0,74	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81
	m_3	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
	m_4	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86
	m_5	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88

4.3 Použití přidržovače [4]

Přidržovač zamezuje tvoření vln a záhybů na výtažku. Kromě toho u druhého a dalších tahů přidržovač ustředňuje výtažek proti tažnici. Síla přidržovače musí být tak velká, aby zamezila tvoření vln na výtažku, ale nesmí přitom dojít k utržení dna výtažku.

Přidržovač se použije v těchto případech:

- u prvního tahu tehdy, zjistí-li se výpočtem jeho nutné použití
- u druhého a dalších tahů, je-li součinitel tahu pro danou operaci $m < 0,9$

Použití přidržovače je možno určit výpočtem pomocí několika metod. Nejčastěji se používá výpočet podle ČSN 22 7301. Podle této normy se součinitel, určující nutnost použití přidržovače, vypočítá ze vztahu:

$$k_p = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) \quad [-] \quad (4.10)$$

Je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$ je nutno táhnout s přidržovačem

Je-li $k_p < \frac{100 \cdot d_1}{D}$ není nutné přidržovač použít

kde: k_p – součinitel určující nutnost použití přidržovače

t – tloušťka plechu

Z – materiálová konstanta

- pro ocelový hlubokotažný plech	$Z = 1,90$
- pro mosazný plech	$Z = 1,95$
- hliníkový plech	$Z = 2,00$

Tlustší plechy se táhnou lépe bez přidržovače než plechy tenké. Hlubokotažné plechy o $t < 0,5$ mm se musí táhnout vždy s přidržovačem.

Síla přidržovače je dána vztahem [4]

$$F_p = S \cdot p \quad [N] \quad (4.11)$$

kde: S plocha, na které je plech přidržován

p tlak na styčné ploše, volí pro ocelové plechy $p = 1,8$ až $2,8$ MPa.

4.4 Poloměry tažných hran tažnice a tažníku [4]

Zaoblení tažných hran tažnice je závislé na druhu a tloušťce materiálu, na rozměru tažné plochy (u válcových výtažků rozdíl vnějšího průměru ΦD a vnitřního průměru Φd_1). Tažné hrany musí být pečlivě opracovány a leštěny.

Poloměr tažné hrany r_1 pro první tah se vypočte

$$r_t = 0,8 \sqrt{(D - d_1) \cdot t} \quad [mm] \quad (4.12)$$

Pro první tah bývá poloměr tažnice v rozmezí $r_t = (8 - 10) t$.

Pro další tahy do průměru výtažku 60 mm se poloměr tažné hrany určí

$$r_t = \frac{d_1 - d_2}{2} - t \quad [mm] \quad (4.13)$$

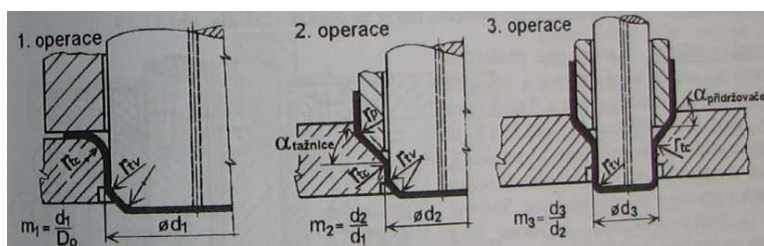
kde: r_t [mm] poloměr tažné hrany
 d_{i-1} [mm] průměr válcového výtažku předešlého tahu
 d_i [mm] průměr válcového výtažku počítaného tahu

Pro další tahy výtažku s průměrem nad 60 mm se poloměr tažné hrany zjistí přibližně podle vztahu

$$r_t = (6 - 8)t \text{ [mm]} \quad (4.14)$$

Poloměry zaoblení tažníku jsou stejné nebo větší než poloměry tažných hran v odpovídajících operacích. Poloměr tažníku u poslední operace se řídí velikostí předepsaného poloměru na výtažku a měl by odpovídat velikosti výtažku, a to přibližně $(3-4)t$ pro průměr výtažku 10 až 100 mm, $(4-5)t$ pro průměr výtažku 100 až 200 mm, $(5-7)t$ pro průměr 200 a více mm.

U zkosených tažníků pro druhý a další tahy jsou poloměry zaoblení na obou přechodech stejné.



Obr. 11: Poloměry zaoblení nástrojů u tříoperačního tažení [4]

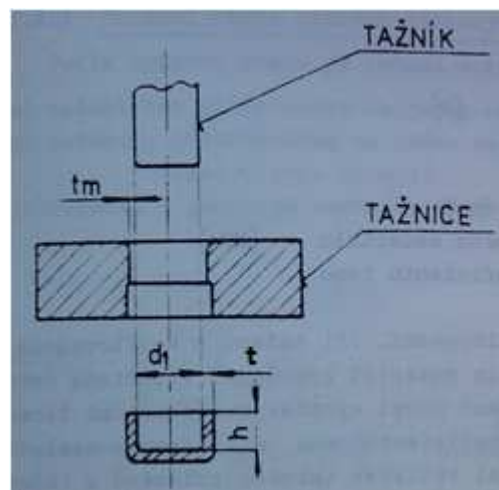
4.5 Tažná mezera [4]

Tažná mezera t_m mezi tažníkem a tažnicí (obr.12) má být o málo větší než je tloušťka plechu, aby se přebytečný materiál mohl přemísťovat ve směru výšky výtažku a nepěchoval se. Tažná mezera má být větší i s ohledem na případné velké tolerance tloušťky plechu.

Obvykle se volí:

pro 1. tah a další – $t_m = (1,2 \text{ až } 1,3)t$ [mm]

pro poslední tah – $t_m = (1,1 \text{ až } 1,2)t$ [mm]



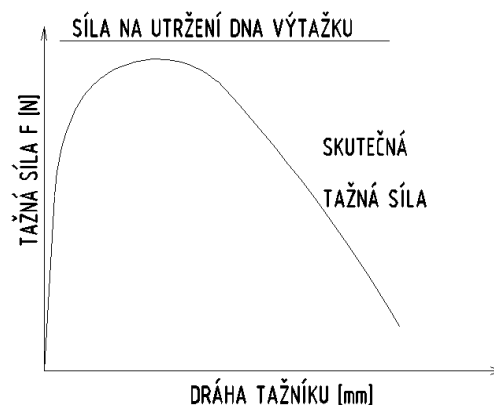
Obr. 12: Tažná mezera [4]

4.6 Tažná síla a práce [3]

Tažná síla roste a dosahuje přibližně maxima, když tažník dosáhne hloubky $h_m = r_{tv} + r_{tc} + t_o$, tj. když je největší opsání tažné hrany tažnice ($\alpha = \pi/2$). Podíl tření i prostorového ohybu je největší a projevuje se i vliv intenzivního zpevnění materiálu.

Na velikost tažné síly má vliv radiální tahové (membránové) napětí, které se mění v závislosti na poloměru „ ρ “, na přirozeném přetvárném odporu, dále na složce napětí od tření mezi přidržovačem a tažnicí, na napětí které vyjadřuje odpor proti ohybu na tažné hraně tažnice a na vlivu tření s opásáním této hrany. Deformační (technologický) odpor při tažení v 1. operaci je pak vyjádřen základním vztahem

$\sigma_d = (\sigma_p + \sigma_f) \cdot e^{f\alpha} + 2\sigma_o$. Někdy se vnímá vliv dvojnásobného ohybu samostatně bez vlivu účinku tření s opásáním.



Obr. 13: Průběh tažné síly

$$\sigma_d = \frac{F_{taž}}{S} = \sigma_z = (\sigma_p + \sigma_f + 2\sigma_o) \cdot e^{f\alpha} \quad [\text{MPa}] \quad (4.15)$$

Pro zjednodušený výpočet maximální tažné síly (síly na utržení dna) se v praxi používá empirický vztah

$$F_{max} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \cdot n \quad [\text{N}] \quad (4.16)$$

kde: t [mm] tloušťka plechu
 R_m [MPa] mez pevnosti materiálu
 d_n [mm] průměr výtažku v dané operaci
 n koeficient závislý na součiniteli tažení m (viz. tab. 4)

Tab. 4: Hodnoty koeficientu n [4]

$m = \frac{d_n}{D_0}$	0,55	0,575	0,60	0,625	0,65	0,675	0,7	0,75	0,80
n	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,50	0,40

Celková síla, na kterou se dimenzuje lis, je součet tažné a přidržovací síly [4]

$$F_c = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (4.17)$$

Tažná práce se vypočte

$$A = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (4.18)$$

kde: C - součinitel zaplnění diagramu
 $C = 0,66$ - při tažení bez kalibrování
 $C = 0,8$ - při tažení s kalibrováním
 h - vnitřní výška výtažku

4.7 Maziva pro tažení [1]

Druh a vlastnosti maziva se řídí tvářecím procesem a druhem tvářeného materiálu a jeho předběžnou úpravou.

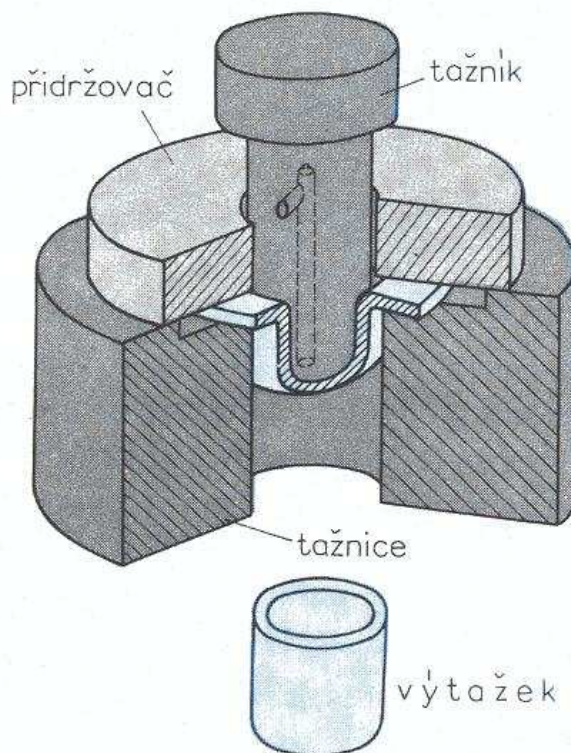
Maže se nástroj a zpravidla i tvářený materiál. Úlohou maziva je zmenšit třecí sílu při tažném procesu, ulehčit tím tok materiálu a zamezit studeným svarům. Zároveň prodloužit trvanlivost nástrojů a zajistit požadované tolerance výtažku.

Používají se čisté ropné cyklické oleje středně viskózní (kolem $50 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ při 50°C) nebo méně viskózní (kolem $20 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ při 50°C) s VT přísadou, např. s chlorovaným tuhým parafínem, nebo s přísadou tuhého maziva (grafitu, MoS_2 , talku, křídly, ZnO , PbO aj.), rostlinné oleje (nejčastěji řepkový olej), samotné nebo šířené živočišné oleje a tuky (např. lůj, rybí olej), olejové emulze běžné i aktivované VT přísadami, vhodné roztoky sodných nebo draselných mýdel i suchá prášková mýdla. Tuhá maziva (grafit, MoS_2) se používají jen při lisování za tepla (tažení plechu do větší hloubky, nebo tažení plechů z legovaných ocelí o velké pevnosti a malé tažnosti).

Od tzv. víceúčelových maziv pro hluboké tažení plechů se požaduje, aby měla nejen dobré mazací vlastnosti, ale i konzervační vlastnosti a byla snadno odstranitelná z povrchu plechu. Takovými mazivy jsou středně viskózní rafinované ropné cyklické oleje s dobrou smáčecí schopností kovových povrchů, vybavené mazivostní přísadou a inhibitorem koroze.

4.8 Tažné nástroje [7]

Hlavní funkční části nástroje jsou tažník a tažnice, resp. přidržovač, který zabráňuje zvlnění plechu při tažení. Podle charakteru vykonávané operace můžeme tažné nástroje rozdělit na tažné nástroje pro první tah a na tažné nástroje pro další tahy a v obou dvou skupinách mohou být tažné nástroje jednoduché, sloučené, speciální. Podle druhu lisu mohou být tažné nástroje určené pro jednočinné lisy, dvojčinné a trojčinné lisy a pro postupové lisy. Podle druhu a typu přidržovače se tažné nástroje dělí na nástroje bez přidržovače a nástroje s přidržovačem, a to pružinovým, pryžovým, pneumatickým, hydraulickým.

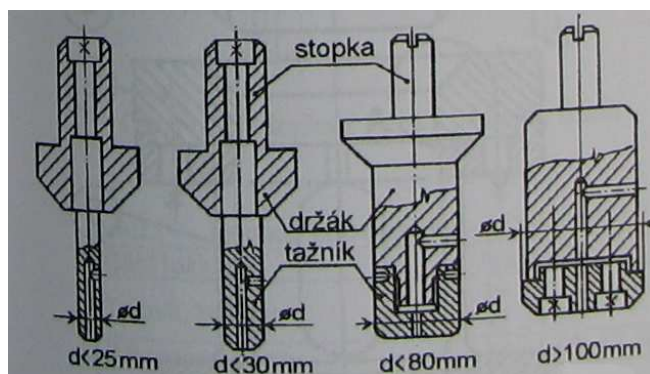


Obr. 14: Tažný nástroj [7]

4.9 Tažník [4]

Funkční části tažníku jsou čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Jeho vnější tvar udává vnitřní tvar výtažku. Tažník je namáhán na vzpěr a po obvodu radiálními silami. Funkční část je u velkých tažníků většinou z nástrojové oceli, držák pak z běžné konstrukční oceli. Funkční část bývá k držáku přišroubovaná, připájená, nebo přilepená. Kvůli snazšímu stírání jsou tažníky opatřeny odvodušňovacím otvorem.

Na obrázku 15 jsou zobrazeny různé konstrukce tažníků podle průměru tažené součásti.



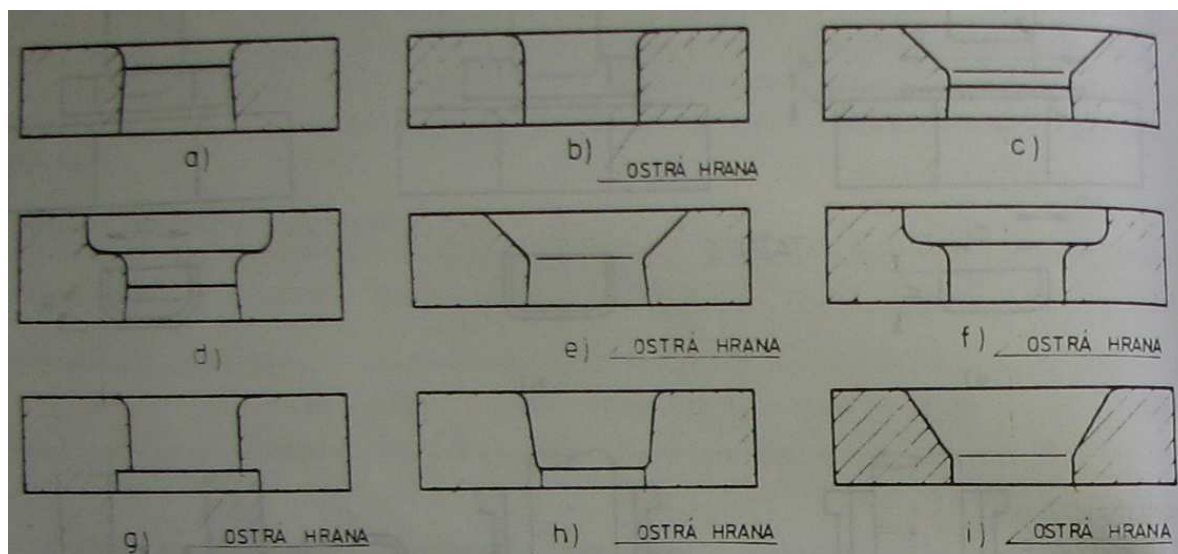
Obr. 15: Typy tažníků [3]

4.10 Tažnice [3], [4], [6]

Tažnice pro kruhové výtažky bývají celistvé, prstencového tvaru s funkčním otvorem, který může být proveden různým způsobem. Jejich tvar a úprava hran funkčního otvoru i způsob jejich odstraňování z tažnice závisí na druhu tažených výtažků.

Tažnice pro první operaci jsou uloženy a středěny v základové litinové desce a přitaženy přes zakládací kroužek. Spodní vnitřní hrana tažnice, pokud je ostrá, stírá hotový výtažek z tažníku.

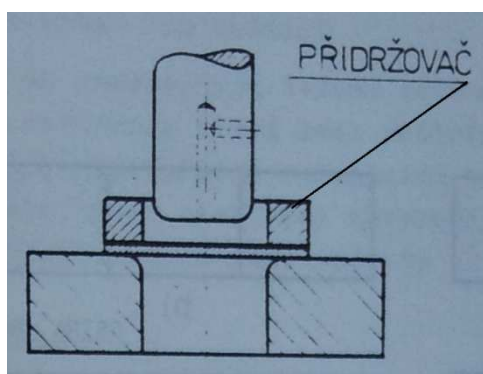
Na obr. 16 jsou zobrazena různá provedení tažnic



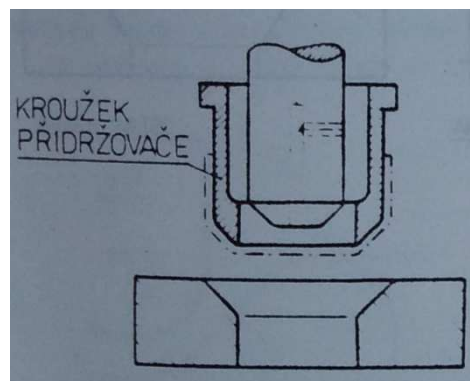
Obr. 16: Typy tažnic [3]

4.11 Přidržovač [4]

U prvního tahu se používá rovného přidržovače, kde úhel $\alpha = 0^\circ$ (obr. 17). U dalších tahů pro snížení odporu plechu proti vtahování do tažnice bývá přidržovací plocha kuželová o sklonu $\alpha = 30^\circ$ až 45° (obr. 18), může být však i rovná, pokud to je pro funkci přidržovače výhodnější.



Obr. 17: Přidržovač pro 1. tah [4]



Obr. 18: Přidržovač pro 2. tah [4]

4.12 Stroje pro hluboké tažení

Tažení se provádí na lisech mechanických, hydraulických a speciálních. Lisy používané na tažení se dělí na:

- jednočinné
- dvojčinné
- trojčinné
- postupové
- speciální

Z mechanických lisů se na tažení používají nejčastěji klikové lisy, které mají větší zdvih než výstředníkové. Výstředníkové lisy se používají spíše pro tažení plytkých součástek.

Pro hluboké tažení se nejvíce hodí hydraulické lisy. Jejich velkou předností je jednoduchá změna přidržovacích sil.

Mezi speciální lisy na tažení by se daly zařadit lisy pro hydromechanické tažení.



Obr. 19: Lisy pro hluboké tažení [8]

5 NÁVRH POSTUPU VÝROBY

5.1 Parametry výtažku

Základní rozměry výtažku:

(viz příloha č. 1)

5.2 Velikost přístřihu plechu

Varianta A)

Tento výpočet vychází z rovnosti objemů před a po tažení.

$$S_1 = \pi \cdot D_1 \cdot l_1 = \pi \cdot 118 \cdot 60 = 22242,5 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot (D_1 - D_2) \cdot l_2 = \pi \cdot (118 - 68) \cdot 65 = 10210,2 \text{ mm}^2$$

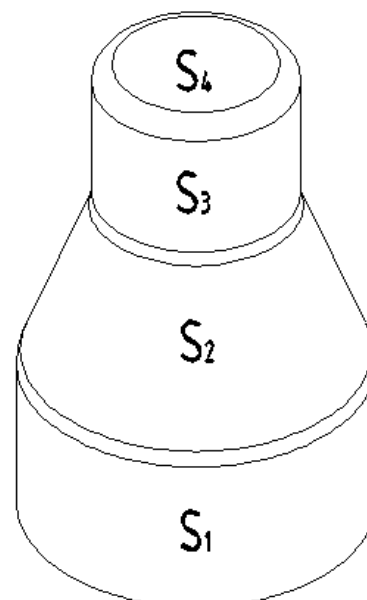
$$S_3 = \pi \cdot D_2 \cdot l_3 = \pi \cdot 68 \cdot 55 = 11749,6 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 68^2}{4} = 3631,7 \text{ mm}^2$$

$$S_C = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 22242,5 + 10210,2 + 11749,6 + 3631,7 = 47834 \text{ mm}^2$$

Průměr přístřihu:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_C}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 47834}{\pi}} = 246,8 \text{ mm}$$



Obr. 20: Plochy součásti

Varianta B)

Stanovení velikosti přístřihu pomocí Guldinovy věty.

Součást se rozloží na jednotlivé čáry a určí se jejich velikost.

$$l_1 = 60 \text{ mm}$$

$$l_2 = 5,14 \text{ mm}$$

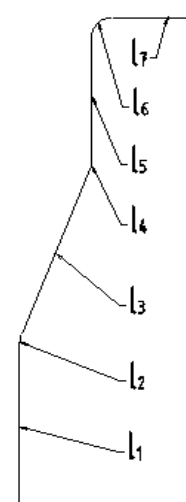
$$l_3 = 64,5 \text{ mm}$$

$$l_4 = 5,14 \text{ mm}$$

$$l_5 = 49 \text{ mm}$$

$$l_6 = 9,4 \text{ mm}$$

$$l_7 = 28 \text{ mm}$$



Obr. 21: Délky čar součásti

Dále se určí vzdálenosti těžišť jednotlivých čar od osy součásti.

$$r_1 = 59 \text{ mm}$$

$$r_2 = 45 \text{ mm}$$

$$r_3 = 25 \text{ mm}$$

$$r_4 = 50 \text{ mm}$$

$$r_5 = 34 \text{ mm}$$

$$r_6 = 14 \text{ mm}$$

$$r_7 = 14 \text{ mm}$$

Zjištěné hodnoty dosadíme do vzorce pro výpočet plochy součásti.

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r_n \cdot L_n$$

$$S_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot l_1 = 2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 59 = 22\,242,5 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot l_2 = 1\,453,3 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = 2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot l_3 = 10\,131,6 \text{ mm}^2$$

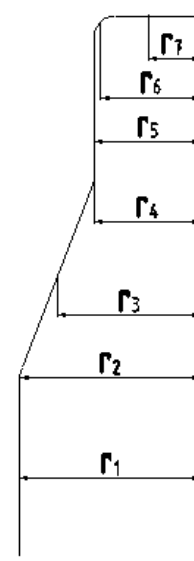
$$S_4 = 2 \cdot \pi \cdot r_4 \cdot l_4 = 1\,614,8 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = 2 \cdot \pi \cdot r_5 \cdot l_5 = 10\,467,8 \text{ mm}^2$$

$$S_6 = 2 \cdot \pi \cdot r_6 \cdot l_6 = 826,9 \text{ mm}^2$$

$$S_7 = 2 \cdot \pi \cdot r_7 \cdot l_7 = 2\,463 \text{ mm}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 = 49\,199,9 \text{ mm}^2$$



Obr. 22: Poloměry těžišť součásti

Z důvodu nerovnosti okrajů vzniklých anizotropií materiálu při tažení se plocha přístřihu zvětší o 5%.

$$S_p = 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 49\,199,9 = 2\,459,9 \text{ mm}^2$$

$$S_0 = S + S_p = 49\,199,9 + 2\,459,9 = 51\,659,9 \text{ mm}^2$$

Průměr přístřihu:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 51\,659,9}{\pi}} = 256,5 \text{ mm}$$

Guldinova věta je přesnější způsob výpočtu, proto dále počítám pouze s hodnotami varianty B).

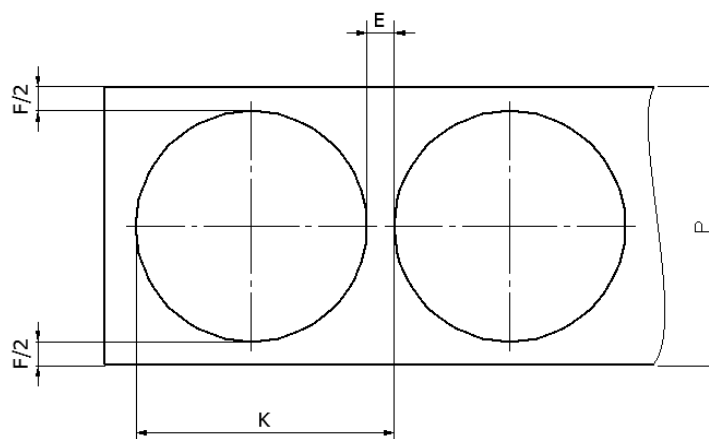
5.3 Nástřihový plán

$$E = 9 \text{ mm}$$

$$F = 3,5 \text{ mm}$$

$$K = D_0 + E = 256,5 + 3,5 \\ = 260 \text{ mm}$$

$$P = D_0 + F = 256,5 + 9 \\ = 265,5 \text{ mm}$$



Obr. 23: Nástřihový plán

kde: E..... můstek [mm]
 F..... okraje [mm]
 K..... krok [mm]
 P..... šířka pásu [mm]

5.4 Počet tažných operací

$$\frac{t}{D_0} \cdot 100 = \frac{2}{256,5} \cdot 100 = 0,7797$$

Z tabulky 3 volím součinitele tažení pro jednotlivé tahy:

$$m_1 = 0,54$$

$$m_2 = 0,77$$

$$m_3 = 0,80$$

$$m_4 = 0,82$$

Průměr výtažku v jednotlivých operacích:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,54 \cdot 256,5 = 138,51 \text{ mm}$$

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,77 \cdot 138,51 = 106,65 \text{ mm}$$

$$d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,8 \cdot 106,65 = 85,32 \text{ mm}$$

$$d_4 = m_4 \cdot d_3 = 0,82 \cdot 85,32 = 70 \text{ mm}$$

Z výpočtu vyplývá, že po čtvrté operaci je dostatečně malý průměr na zhotovení součásti.

5.5 Nutnost použití přidržovače

Pro první tah:

$$k_p = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \left(1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{256,5}} \right) = 83,87$$

$$\frac{100 \cdot d_1}{D_0} = \frac{100 \cdot 138,51}{256,5} = 54$$

$83,87 > 54 \rightarrow$ Je nutné použít přidržovač.

Pro ostatní tahy platí: $m < 0,9$ – je nutný přidržovač
 $m > 0,9$ – není nutný přidržovač

Pro druhý tah:

$$m_2 = 0,77 < 0,9 \text{ – je nutné použít přidržovač}$$

Pro třetí tah:

$$m_3 = 0,80 < 0,9 \text{ – je nutné použít přidržovač}$$

Pro čtvrtý tah:

$$m_4 = 0,82 < 0,9 \text{ – je nutné použít přidržovač}$$

5.6 Poloměr zaoblení tažné hrany

5.6.1 Poloměr hrany tažnice

Pro první tah:

$$\text{Varianta a)} \quad r_t = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d_1) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(256,5 - 138,51) \cdot t} = 12,3 \text{ mm}$$

$$\text{Varianta b)} \quad r_t = 9 \cdot t = 9 \cdot 2 = 18 \text{ mm}$$

Volím variantu b) z důvodu menšího rizika porušení materiálu.

$$\text{Pro další tahy se volí } r_t = 7 \cdot t = 7 \cdot 2 = 14 \text{ mm}$$

5.6.2 Poloměr hrany tažníku

$$\text{Pro první tah se volí } r_p = r_t = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Pro další tahy se volí } r_p = r_t = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Pro poslední tah se volí } r_p = 3 \cdot t = 3 \cdot 2 = 6 \text{ mm}$$

Zadaná součást má u dna poloměr R5, tudíž volím poloměr hrany tažníku pro poslední tah $r_p = 5 \text{ mm}$

5.7 Tažná mezera

$$\text{Pro první tah volím } t_m = 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm}$$

$$\text{Pro další tahy volím } t_m = 1,1 \cdot t = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ mm}$$

5.8 Výpočet celkové síly

Celková tažná síla se vypočítá součtem tažné a přidržovací síly.

Pevnost v tahu $R_m = 300 \text{ MPa}$

5.8.1 Tažná síla

Pro první tah:

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot t \cdot R_m \cdot n_1 = \pi \cdot 138,51 \cdot 2 \cdot 300 \cdot 1 = 261\,085,2 \text{ N}$$

Pro druhý tah:

$$F_{t2} = \pi \cdot d_2 \cdot t \cdot R_m \cdot n_2 = \pi \cdot 106,65 \cdot 2 \cdot 300 \cdot 0,5 = 100\,515,3 \text{ N}$$

Pro třetí tah:

$$F_{t3} = \pi \cdot d_3 \cdot t \cdot R_m \cdot n_3 = \pi \cdot 85,32 \cdot 2 \cdot 300 \cdot 0,4 = 64\,329,8 \text{ N}$$

Pro čtvrtý tah:

$$F_{t4} = \pi \cdot d_4 \cdot t \cdot R_m \cdot n_4 = \pi \cdot 70 \cdot 2 \cdot 300 \cdot 0,4 = 52\,778,8 \text{ N}$$

kde: n_1 až n_4 – koeficienty pro určení tažné síly viz tab. 4.

5.8.2 Síla přidržovače

Pro první tah:

$$F_{p1} = S_1 \cdot p = 36\,605,2 \cdot 2,5 = 91\,513\,N$$

Pro druhý tah:

$$F_{p2} = S_2 \cdot p = 6\,134,6 \cdot 2,5 = 15\,336,5\,N$$

Pro třetí tah:

$$F_{p3} = S_3 \cdot p = 3\,216 \cdot 2,5 = 8\,040\,N$$

Pro čtvrtý tah:

$$F_{p4} = S_4 \cdot p = 1\,872,8 \cdot 2,5 = 4\,682\,N$$

kde: S..... plocha pod přidržovačem
p..... doporučená hodnota tlaku pod přidržovačem (1,8 až 2,8 MPa)
zvoleno 2,5 MPa

5.8.3 Celková tažná síla

Pro první tah:

$$F_{c1} = F_{t1} + F_{p1} = 261\,085,2 + 91\,513 = 352\,598,2\,N$$

Pro druhý tah:

$$F_{c2} = F_{t2} + F_{p2} = 100\,515,3 + 15\,336,5 = 115\,851,8\,N$$

Pro třetí tah:

$$F_{c3} = F_{t3} + F_{p3} = 64\,329,8 + 8\,040 = 72\,369,8\,N$$

Pro čtvrtý tah:

$$F_{c4} = F_{t4} + F_{p4} = 52\,778,8 + 4\,682 = 57\,460,8\,N$$

Největší tažná síla je u prvního tahu. Podle této síly se následně volí jmenovitá síla lisu.

5.9 Tažná práce

Pro první tah:

$$A = \frac{C \cdot F_{c1} \cdot h_1}{1\,000} = \frac{0,8 \cdot 352\,598,2 \cdot 0,059}{1\,000} = 16,64\,kJ$$

Pro druhý tah:

$$A = \frac{C \cdot F_{c2} \cdot h_2}{1\,000} = \frac{0,8 \cdot 115\,851,8 \cdot 0,075}{1\,000} = 6,95\,kJ$$

Pro třetí tah:

$$A = \frac{C \cdot F_{c3} \cdot h_3}{1\,000} = \frac{0,8 \cdot 72\,369,8 \cdot 0,086}{1\,000} = 4,98\,kJ$$

Pro čtvrtý tah:

$$A = \frac{C \cdot F_{c4} \cdot h_4}{1\,000} = \frac{0,8 \cdot 57\,460,8 \cdot 0,093}{1\,000} = 5,28\,kJ$$

kde: C..... součinitel zaplnění grafu při tažení s kalibrováním zvolen 0,8
h₁ až h₄..... hloubka výtažku v jednotlivých operacích

5.10 Volba lisu [8]

Lis musí splňovat všechny požadavky na výrobu součástí. Musí mít dostatečnou jmenovitou sílu a dostatečný zdvih. Kvůli nutnému zdvihu 400 mm se musí zvolit lis s větší jmenovitou silou než jaká je potřebná.

Volím lis CTC 250.

Je to dvojčinný, hydraulický lis, který je určen pro běžné operace plošného i objemového tváření prováděné za studena i za tepla. Lis je vertikální konstrukce se svařovaným stojanem tvaru „C“. V horní části stojanu je uložen dvojčinný pracovní válec s plnicím ventilem. Řídicí systém zajišťuje ovládání lisu, jeho diagnostiku a signalizaci pro další spolupracující zařízení.

Základní technické parametry

Jmenovitá síla	kN	2 500
Sevřená výška	mm	400
Zdvih	mm	450
Vyložení	mm	400
Rychlost přibližovací	mm.s ⁻¹	170
Rychlost pracovní max.	mm.s ⁻¹	20
Rychlost pracovní min.	mm.s ⁻¹	6
Rychlost zpětná	mm.s ⁻¹	100
Upínací plocha beranu	mm	750 x 450
Upínací plocha stolu	mm	900 x 630
Síla přidržovače	kN	100
Zdvih přidržovače	mm	320
Síla spodního vyhazovače	kN	1 000
Zdvih spodního vyhazovače	mm	250
Výkon hlavního motoru	kW	25
Půdorys lisu	mm	900 x 2 300
Výška lisu	mm	3 300



Obr. 24: Lis CTC 250 [8]

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Technické zhodnocení

Hluboké tažení je nejproduktivnější způsob výroby zadané součásti v dané sérii. Tažný nástroj se skládá ze spodní a z horní části. Ve spodní části je tažnice, která je nalisována do upínací desky a zajištěna zakládacím kroužkem. Horní část tvoří tažník, který je pomocí stopky upevněn na vnitřní beran lisu. Dále horní upínací deska, na níž je objímkou upnut přidržovač, která je připevněna na vnější beran lisu.

Výroba součásti se skládá z operace stříhání polotovaru, čtyř tažných operací a jedné kalibrovací.

6.2 Ekonomické zhodnocení

6.2.1 Variabilní náklady

A) Výpočet nákladů na materiál:

Volba tabule plechu:

Z hlediska úspory materiálu volím tabuli plechu o rozměrech 2x1 250x2 500.

Hmotnost tabule: 49 kg

Cena za kilogram: 27 Kč/kg

Cena za tabuli: 1 324,62 Kč/tab.

Cena za odpad: 3 Kč/kg

B) Výpočet spotřeby materiálu:

Počet výstřížků z jednoho pásu plechu: $a = \frac{\text{délka pásu}}{K} = \frac{2\,500}{260} = 9,61 \rightarrow 9ks$

Počet celých pásů z jedné tabule: $b = \frac{\text{šířka tab.}}{P} = \frac{1\,250}{265,5} = 4,7 \rightarrow 4ks$

Počet výstřížků z jedné tabule: $c = a \cdot b = 9 \cdot 4 = 36ks$

Potřebný počet tabulí k vystřížení 50 000 ks: $\frac{50\,000}{36} = 1\,389ks$

2% jsou připsány pro ztráty při výrobě tj. 28ks.

Počet tabulí celkem: $1389 + 28 = 1\,417 ks$

Cena za všechny tabule: $N_t = 1\,324,62 \cdot 1\,417 = 1\,876\,987 Kč$

C) Zhodnocení odpadu:

Hmotnost tabulí plechu: $49 \cdot 1\,417 = 69\,433 kg$

Hmotnost odpadu: 40,5% z 69 433 je 28 120,4 kg

Zhodnocení odpadu: $N_o = 3 \cdot 28\,120,4 = 84\,361 Kč$

Celkové náklady na materiál: $N_m = N_t + N_o = 1\,876\,987 - 84\,361 = 1\,792\,626 Kč$

D) Náklady na energii:

$$N_e = t_v \cdot c_e \cdot P_s = 1\,852 \cdot 4,35 \cdot 30 = 241\,686 \text{ Kč}$$

Čas potřebný na výrobu série 50 000 ks: $t_v = 1\,852$ hod

Cena el. energie: $c_e = 4,35$ Kč/kWh

Výkon tvářecího stroje: $P_s = 30$ kW

E) Náklady na mzdy:

$$N_{mzd} = m_h \cdot t_v = 120 \cdot 1\,852 = 222\,240 \text{ Kč}$$

Mzda $m_h = 120$ Kč/hod

Variabilní náklady celkem:

$$N_v = N_m + N_e + N_{mzd} = 1\,792\,626 + 241\,686 + 222\,240 = 2\,256\,552 \text{ Kč}$$

$$\text{Variabilní náklady za jeden výtažek } N_{vj} = \frac{N_v}{Q} = \frac{2\,256\,552}{50\,000} = 45 \text{ Kč}$$

6.2.2 Fixní nákladyA) Náklady na nástroje:

nástroj pro stříhání polotovaru	50 000 Kč
nástroj pro první tah	60 000 Kč
nástroj pro druhý tah	60 000 Kč
nástroj pro třetí tah	60 000 Kč
nástroj pro čtvrtý tah	60 000 Kč
nástroj pro kalibrační tah	80 000 Kč

Celkové náklady na nástroje: $N_n = 370\,000 \text{ Kč}$

B) Náklady na výrobní a správní režii:

$$N_r = \frac{N_{vj} \cdot Q \cdot (R_v + R_s)}{100} = \frac{45 \cdot 50\,000 \cdot (80 + 60)}{100} = 3\,150\,000 \text{ Kč}$$

kde: $R_v = 80\%$ výrobní režie [%]

$R_s = 60\%$ správní režie [%]

Fixní náklady celkem:

$$N_f = N_n + N_r = 370\,000 + 3\,150\,000 = 3\,520\,000 \text{ Kč}$$

6.2.3 Celkové nákladyA) Náklady celkem

$$N_c = N_v + N_f = 2\,256\,552 + 3\,520\,000 = 5\,776\,552 \text{ Kč}$$

B) Zisk 20% při výrobě

$$Z_v = \frac{(N_{vj} \cdot Q + N_f) \cdot 20}{100} = \frac{(45 \cdot 50\,000 + 3\,520\,000) \cdot 20}{100} = 1\,154\,000 \text{ Kč}$$

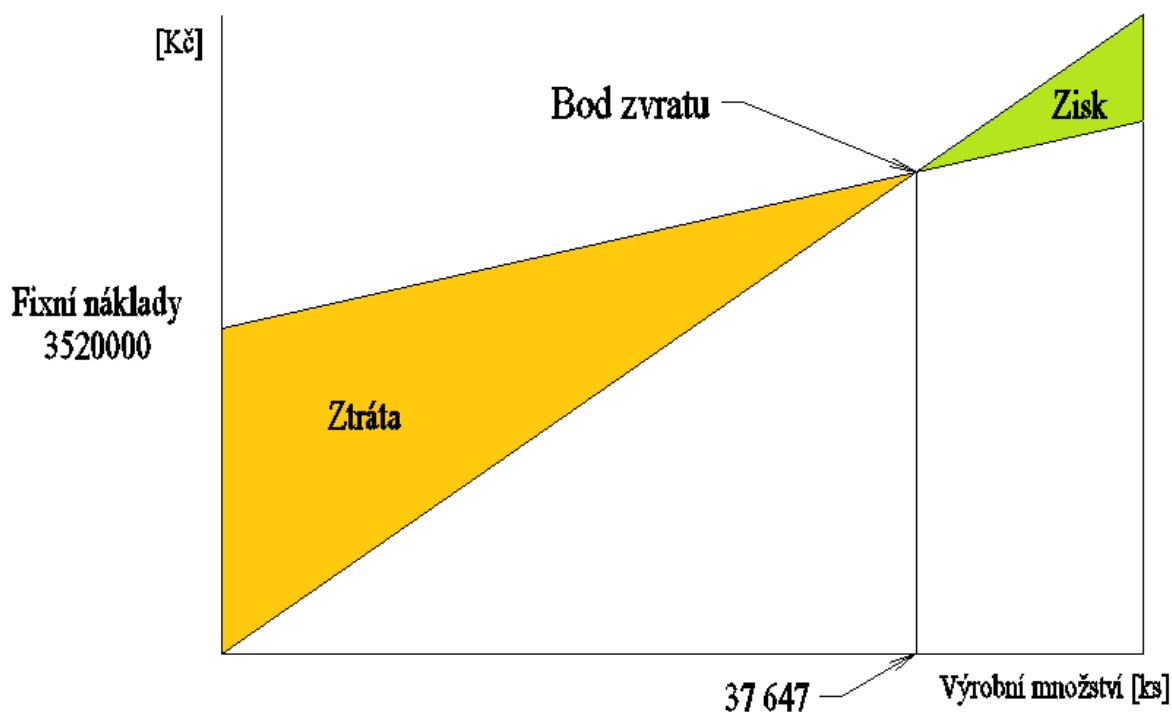
C) Cena jednoho výtažku při zahrnutí zisku 20%

$$C_v = \frac{N_{vj} \cdot Q + N_f + Z_v}{Q} = \frac{45 \cdot 50\,000 + 3\,520\,000 + 1\,154\,000}{50\,000} = 138,50 \text{ Kč}$$

D) Bod zvratu

$$B_z = \frac{N_f}{C_v - N_{vj}} = \frac{3\,520\,000}{138,5 - 45} = 37\,647 \text{ ks}$$

Bod zvratu vzniká při takovém počtu vyrobených kusů, kdy výroba přestává být ztrátová a začíná být zisková.



Graf 1

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou technologii k výrobě ochranného krytu v sérii 50 000 ks/rok. Na výrobu součásti byl zvolen plech o tloušťce 2 mm z materiálu DC04.

Byly vzaty v úvahu možné technologie výroby rozšiřování, kovotlačení a hluboké tažení. Jako nejvhodnější technologie se jeví hluboké tažení, na nějž byl vypracován postup výroby. Z výpočtů bylo zjištěno, že na zhotovení součásti je potřeba vyrobit přístřih o průměru 256,5 mm, dále jsou nutné čtyři operace tažné a jedna kalibrovací.

Na první tažnou operaci byl navržen nástroj, který je přiložen ve výkresové dokumentaci.

V ekonomickém zhodnocení byla vypočtena cena jednoho výtažku, která činí 45 Kč. Byl rovněž stanoven bod zvratu, který udává, že po vyrobení 37 647 kusů je výroba zisková.

Pro výrobu ochranného krytu byl v příloze zpracován návrh sestavy tažného nástroje pro první tah.

Vzhledem k potřebné jmenovité síle a potřebnému zdvihu byl zvolen dvojčinný hydraulický lis CTC 250, který svými parametry vyhovuje pro výrobu dané součásti.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

B_z	bod zvratu	[-]
c_e	cena el. Energie	Kč/kWh
C_v	cena jednoho výtažku při zahrnutí zisku 20%	Kč
m_h	mzda	Kč/hod
N_c	náklady celkem	Kč
N_e	náklady na energii	Kč
N_f	fixní náklady celkem	Kč
N_m	celkové náklady na materiál	Kč
N_{mzd}	náklady na mzdy	Kč
N_n	celkové náklady na nástroje	Kč
N_o	zhodnocení odpadu	Kč
N_r	náklady na výrobní a správní režii	Kč
N_t	cena za všechny tabule	Kč
N_v	variabilní náklady celkem	Kč
N_{vj}	variabilní náklady za jeden výtažek	Kč
P_s	výkon tvářecího stroje	kW
R_s	správní režie	[%]
R_v	výrobní režie	[%]
t_v	čas potřebný na výrobu série	hod
Z_v	zisk 20% při výrobě	Kč
ε_D	poměrné přetvoření na konci příruby	[-]
A	tažná práce	[J]
a	počet výstřižků z jednoho pásu	[-]
b	počet celých pásů z jedné tabule	[-]
C	součinitel zaplnění diagramu	[-]
c	počet výstřižků z jedné tabule	[-]
D	průměr přístřihu	[mm]
d	vnitřní průměr výtažku	[mm]
d	průměr výtažku v dané operaci	[mm]
D_0	výchozí průměr přístřihu	[mm]
D_0	velikosti přístřihu D_0	[mm]
d_1	průměr přístřihu	[mm]
d_1	průměr válcového výtažku předešlého tahu	[mm]
d_r	průměr válcového výtažku počítaného tahu	[mm]
d_p	průměr příruby hotového výtažku	[mm]
E	můstek	[mm]
F	okraje	[mm]
F_c	celková síla	[N]
F_p	síla přidržovače (přidržovací síla)	[N]
F_t	tažná síla	[N]
F_{tmax}	maximální tažná síla	[N]
h	minimální výška výtažku	[mm]
h	vnitřní výška výtažku	[mm]
h_m	hloubka	[mm]
K	krok	[mm]
K_1	stupně tažení	[-]
k_p	součinitel určující nutnost použití přidržovače	[-]

$m_{1,2,3,4}$	součinitel tažení pro příslušný tahy	[–]
n	koeficient závislý na součiniteli tažení m	[–]
p	tlak na styčné ploše	[MPa]
P	šířka pásu	[mm]
ϕd_1	průměr valcového výtažku prvního tahu	[mm]
r	poloměr zaoblení přechodu stěny do příruby a dna výtažku	[mm]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
r_t	poloměr tažné hrany	[mm]
S	plocha	[mm ²]
S_p	plocha přístřihu	[mm ²]
t	tloušťka plechu	[mm]
t_m	tažná mezera	[mm]
Z	materiálová konstanta	[–]
σ_d	deformační (technologický) odpor	[MPa]

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření : plošné a objemové tváření*. 1. vyd. Brno : CERM, 2007. 170 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
2. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
3. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 1st edition. New York: Industrial Press INC., 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
6. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
7. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření – tažení* [online]. Technická universita Liberec, 2003. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm>, [cit. 2010-02-20]
8. ŽĐAS, a.s.. *Hydraulické univerzální lisy CTC* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.zdas.cz>>, 2010 [cit. 2010-10-09]
9. VIVEK. *Hydraulic deep drawing* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.vivekmachinetools.com/hydraulic_deep_drawing_press.htm>, 2010 [cit. 2010-10-09]
10. ARCELORMITTAL, a.s.. *Mechanické vlastnosti I* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/03_cz.pdf>, 2008 [cit. 2009-11-14]
11. ŠMEHLÍKOVÁ, Eva. *Cvičení 6: Hluboké tažení válcového výtažku* [online]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/technologie_tvareni__cviceni_6_zadani__smehlikova.pdf>, [cit. 2009-10-18]
12. SMARTCLIMA. *Deep drawing stamping* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.smartclima.com/Deep-drawing-stamping.htm>>, 2010 [cit. 2010-09-08]
13. DIRECT INDUSTRY. *Hydraulic deep drawing press* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.directindustry.com/prod/ap-t/hydraulic-deep-drawing-press-for-filter-housings-27151-90829.html>>, [cit. 2010-09-08]

14. HI CRAFT METAL. *Deep drawing* [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.hicraftmetal.com/services.htm>>, [cit. 2010-10-09]
15. GOODWOOD METALCRAFT. *Deep drawing* [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.goodwood-metalcraft.co.uk/services/deep_drawing.html>, [cit. 2010-10-09]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výtažek
Příloha 2 Sestava vozidla